

**PENGARUH BATUAN ALAMI DALAM AGREGAT KASAR
PADA *HRS* TERHADAP SIFAT *MARSHALL*
DAN NILAI STRUKTURAL**



**Disusun sebagai salah satu syarat menyelesaikan Progam Studi Strata 1
Pada Jurusan Teknik Sipil Fakultas Teknik**

oleh:

AGUS ARIFIYANTO

D 100 100 026

**PROGRAM STUDI TEKNIK SIPIL
FAKULTAS TEKNIK
UNIVERSITAS MUHAMMADIYAH SURAKARTA
2017**

HALAMAN PERSETUJUAN

**PENGARUH BATUAN ALAMI DALAM AGREGAT KASAR
PADA *HRS* TERHADAP SIFAT *MARSHALL*
DAN NILAI STRUKTURAL**

PUBLIKASI ILMIAH

oleh:

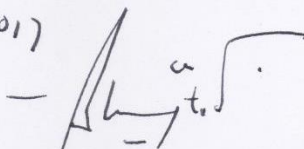
AGUS ARIFIYANTO

D 100 100 026

Telah diperiksa dan disetujui untuk diuji oleh:

Dosen Pembimbing

19, 2017
7



Ir. Agus Riyanto, M.T.

NIK.483

HALAMAN PENGESAHAN

**PENGARUH BATUAN ALAMI DALAM AGREGAT KASAR
PADA *HRS* TERHADAP SIFAT *MARSHALL*
DAN NILAI STRUKTURAL**

Oleh

AGUS ARIFIYANTO

D 100 100 026

Telah dipertahankan di depan Dewan Penguji
Fakultas Teknik
Universitas Muhammadiyah Surakarta
pada hari Jumat 9 Juni 2017
dan dinyatakan telah memenuhi syarat

Dewan Penguji:

1. Ir Agus Riyanto.MT.

(Pembimbing I)

2. Ika Setyaningsih.ST.,MT.

(Penguji I)

3. Nurul Hidayati.ST.,MT.,Ph.D.

(Penguji II)

(.....)
(.....)
(.....)

Dekan Fakultas Teknik


Ir. Sri Sunarjono M.T., Ph.D.
NIK. 682

PERNYATAAN

Dengan ini saya menyatakan bahwa dalam publikasi ilmiah ini tidak terdapat karya yang pernah diajukan untuk memperoleh gelar kesarjanaan di suatu perguruan tinggi dan sepanjang pengetahuan saya juga tidak terdapat karya atau pendapat yang pernah ditulis atau diterbitkan orang lain, kecuali secara tertulis diacu dalam naskah dan disebutkan dalam daftar pustaka.

Apabila kelak terbukti ada ketidak benaran dalam pernyataan saya di atas, maka akan saya pertanggungjawabkan sepenuhnya.

Surakarta, 9 Juni...2017

Penulis



AGUS ARIFIYANTO

D 100 100 026

PENGARUH BATUAN ALAMI DALAM AGREGAT KASAR PADA HRS TERHADAP SIFAT MARSHALL DAN NILAI STRUKTURAL

ABSTRAKSI

Agregat menjadi salah satu faktor yang mempengaruhi kualitas campuran perkerasan. Permasalahan terjadi saat pengolahan dari bongkahan batu besar untuk menjadi agregat kasar, tidak jarang masih ada batuan alami yang tidak ikut terpecah saat proses pemecahan. Selain karena saat proses pemecahan, batu alami dapat juga tercampur dengan tidak sengaja saat penimbunan di *Asphalt Mixing Plan*. Tujuan dari penelitian ini untuk mengetahui pengaruh batuan alami di dalam campuran perkerasan dan mengetahui batasan maksimal batuan alami yang dapat ditoleransi untuk tercampur sebagai agregat kasar.

Penelitian ini melakukan pengujian campuran beraspal (*Hot Mix*) dengan metode *Marshall* Tahap I, *Marshall* Tahap II, dan perhitungan nilai struktural. Pengujian *Marshall* Tahap I untuk menentukan nilai kadar aspal optimum (KAO) dengan variasi kadar aspal: 5,5%; 6,0%; 6,5%; 7,0%; 7,5%; dan 8,0%. Pengujian *Marshall* Tahap II adalah menguji 5 variasi kadar batuan alami yaitu sebanyak 0%; 5%; 10%; 15%; dan 20% dari total agregat kasar menggunakan Kadar Aspal Optimum. Proses evaluasi kedua tahap tersebut menggunakan nilai-nilai karakteristik *Marshall*, yaitu: *Marshall Stability*, *Flow*, *VIM*, *VMA*, *VFWA*, dan *Marshall Quotient* sehingga didapatkan hasil karakteristik *Marshall* pada campuran tersebut. Perhitungan nilai struktural dilakukan dengan variasi kecepatan kendaraan rencana sebesar: 5 km/jam; 10 km/jam; dan 15 km/jam.

Hasil penelitian menunjukkan bahwa tercampurnya batuan alami ke dalam campuran perkerasan sebagai agregat kasar mengakibatkan nilai karakteristik *Marshall* dan nilai struktural pada campuran *HRS-Base* gradasi senjang semakin menurun. Pada karakteristik *Marshall* didapat hasil batuan alami maksimal sebesar 14,6%, pada nilai *VIM* batas yang memenuhi spesifikasi sebesar 14,6%, sedangkan untuk propertis *Marshall* lainnya memenuhi spesifikasi sampai dengan kadar batuan alami 20%. Hasil analisa nilai struktural didapat per variasi batu alami yaitu: 0,239; 0,229; 0,229; 0,224; dan 0,224.

Kata kunci: batuan alami; *HRS-Base*; gradasi senjang; *Marshall*; nilai struktural

ABSTRACT

Aggregate be one of the factors that affect the quality of pavement mixture. The problem comes when the processing of large boulder to become coarse aggregate, not infrequently there are natural rocks which did not split when solving process. In addition to the current process of solving, natural stones can also be mixed with accidentally when accumulation in *Asphalt Mixing Plan*. The purpose of this study to determine the effect of natural rocks in a pavement mixture, and the maximum limit of natural rocks that can be tolerated for mixed as rude aggregate.

In this study using hot mix asphalt testing (*Hot Mix*) by *Marshall* method and calculation of structural value. *Marshall* Testing Phase I for determine the value of Optimum Asphalt Content (KAO) with bitumen content variation is: 5,5%; 6,0%; 6,5%; 7,0%; 7,5%; and 8,0%. The

testing of Marshall Phase II is to test 5 variation of natural rocks content as much as 0%; 5%; 10%; 15%; and 20% of the total coarse aggregate use Optimum Asphalt Content, continued to evaluate the value of Marshall Stability, Flow, VIM, VMA, VFWA, and Marshall Quotient to obtain the result of Marshall characteristics in the pavement mixture. And calculating the value of structural with variation speed of vehicle assumed is 5km/h; 10km/h; and 15km/h.

The results showed that the mixing of natural rocks into pavement mix as a coarse aggregate resulted in the Marshall characteristic value and the structural value of the HRS-Base gradation gradient decreasing. In Marshall's characteristic the maximum 14.6% of natural rocks are found, at a VIM limit that meets the specification of 14.6%, while for others Marshall Properties meets specifications into 20% natural rocks content. The result of Structural Value analysis obtained per variation of natural rocks are: 0,239; 0.229; 0.229; 0.224, and 0,224.

Key Words: gap gradation, HRS-Base, Marshall, natural rocks, values structural

1. PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Campuran Perkerasan terdiri dari agregat kasar (CA), agregat sedang (MA), dan agregat halus (FA). Kebanyakan agregat diambil dari pemecah batu (*stone crusher*) di mana yang sebelumnya berasal dari batuan alami. Dalam proses pemecahan batuan ada kemungkinan terdapat batu yang belum terpecah oleh mesin *stone crusher*, dan masih berupa batuan alami yang ikut tercampur batu pecah, sehingga mutu dari agregat pecah yang diambil dari *stone crusher* akan kurang baik untuk digunakan. Hal tersebut dapat mengakibatkan berkurangnya kualitas campuran perkerasan sehingga akan mempercepat kerusakan pada jalan raya dibandingkan dengan perencanaan awal.

Penelitian ini bermaksud meneliti dan sekaligus memvisualisasikan dampak yang diakibatkan oleh batuan alami yang tercampur ke dalam campuran *Hot Rolled Sheet Base (HRS-Base)* dengan variasi batuan alami 0%, 5%, 10%, 15%, 20% terhadap total agregat kasar. Implikasi pada karakteristik *Marshall* dan nilai struktural hingga akan didapat suatu batasan toleransi untuk banyaknya batuan alami yang diperbolehkan tercampur dalam agregat kasar campuran perkerasan yang nantinya akan digunakan sebagai patokan dalam memilih agregat kasar di tempat pemecah batu.

1.2 Rumusan Masalah

Dari latar belakang di atas, maka dapat diambil rumusan masalah sebagai berikut:

1. Pengaruh yang diakibatkan oleh batuan alami yang tercampur dalam agregat kasar untuk perkerasan jalan pada campuran *HRS-Base* ditinjau dari karakteristik Marshall dan nilai struktural.
2. Berapa batasan maksimal yang diperoleh batuan alami yang tercampur dalam agregat kasar pada campuran perkerasan.

1.3 Tujuan Penelitian

Tujuan dari penelitian ini adalah:

1. Mengetahui dampak dari batuan alami yang tercampur dalam agregat kasar terhadap karakteristik *Marshall* dan nilai struktural pada campuran *HRS-Base*.
2. Mengetahui batasan maksimal banyaknya batuan alami yang tercampur dalam agregat kasar pada campuran perkerasan.

1.4 Manfaat Penelitian

1. Dapat menjadi acuan toleransi seberapa banyak batuan alami yang diperbolehkan tercampur ke dalam campuran perkerasan dan dapat diaplikasikan di lapangan.
2. Dapat digunakan sebagai acuan untuk pengembangan penelitian yang sejenis selanjutnya.

1.5 Batasan Masalah

Agar pembahasan dalam laporan ini tidak meluas maka diberikan batasan-batasan masalah. Adapun batasan-batasan masalah tersebut yaitu :

1. Penelitian dikerjakan di Laboratorium Teknik Sipil Universitas Muhammadiyah Surakarta.
2. Spesifikasi yang digunakan yaitu spesifikasi umum Bina Marga 2010 Revisi 3.
3. Batuan alami yang digunakan berasal dari sumber pengambilan batu sebelum masuk ke *stone crusher*.
4. Agregat yang digunakan adalah bersumber dari wilayah Kabupaten Boyolali
5. Aspal yang digunakan yaitu aspal pen. 60-70 berasal dari PT. PERTAMINA CILACAP.
6. Gradasi *HRS-Base* yang digunakan adalah gradasi senjang.
7. Penggantian batuan alami sebagai agregat kasar dengan variasi 0%, 5%, 10%, 15%, dan 20% terhadap total agregat kasar.
8. Nilai Karakteristik *Marshall* didasarkan pada pengujian *Marshall Test*, sedangkan Nilai Struktural didapat dari proses perhitungan.

2. METODE

Penelitian ini bertujuan mengetahui pengaruh batuan alami yang tercampur di dalam agregat kasar pada campuran *HRS-Base* bergradasi senjang. Metode pada penelitian ini adalah *research* di laboratorium yang berdasarkan pada pedoman campuran beraspal panas yang ditinjau menggunakan metode *Marshall*, menurut Spesifikasi Umum Bina Marga Tahun 2010 Divisi 6 Revisi 3 dan SNI 06-2489-1990 serta dilakukan perhitungan nilai struktural.

Tahapan Penelitian

Tahap I

Pada tahap ini peneliti mempersiapkan alat-alat untuk pengujian, menyediakan material, serta batuan alami yang nanti digunakan sebagai pengganti sebagian dari agregat kasar. Dalam penelitian ini batu alami diambil langsung dari *Stone Quarry* yang sama dengan tempat pengambilan batu sebelum dipecah. Jadi dapat disimpulkan bahwa kualitas antara *fresh aggregate* dan batu alami di sini adalah sama.

Tahap II

Dilakukan pengujian terhadap mutu bahan-bahan untuk penelitian (agregat kasar, agregat halus, aspal, dan batuan alami) supaya masuk spesifikasi untuk membuat campuran aspal panas. Jenis pengujian yang dilakukan pada agregat kasar antara lain: pemeriksaan berat jenis dan penyerapan, analisa saringan, kalapukan, kelekatan agregat terhadap aspal, serta keausan. Pengujian pada agregat halus yaitu: pemeriksaan berat jenis dan penyerapan, analisa saringan, serta *Sand Equivalent*. Pengujian untuk mengetahui mutu yaitu: uji penetrasi, uji titik lembek, , titik nyala dan titik bakar, pemeriksaan berat jenis, serta daktilitas aspal. Sedangkan untuk batuan alami hanya dilakukan pengujian penyerapan, berat jenis, dan kelekatan agregat terhadap aspal.

Tahap III

Untuk menentukan gradasi ideal untuk komposisi agregat campuran aspal peneliti menggunakan *Simple Numerical Method*. Kemudian dilakukan pembuatan benda uji dengan 6 variasi kadar aspal, yaitu: 5,5%; 6,0%; 6,5%; 7,0%; 7,5%; dan 8,0% dengan jumlah *sample* sebanyak 2 benda uji per variasi dan setiap benda uji dipadatkan sebanyak 2 x 75 kali tumbukan. Selanjutnya dilakukan tes dengan *Marshall Metode* dan didapat nilai *Marshall Stability*, *Flow*, *VMA*, *VIM*, *VFWA* dan *Marshall Quotient (MQ)*, dan kemudian didapat nilai kadar aspal optimum (KAO). Jadi total benda uji adalah sebanyak 12 buah.

Tahap IV

Dalam tahap ini dibuat benda uji dengan dilakukan penggantian *fresh aggregate* dengan batuan alami dengan kadar variasi 0%; 5%; 10%; 15%; dan 20% terhadap total berat agregat kasar dengan menggunakan kadar aspal optimum. Setiap variasi dibuat benda uji sebanyak 3 buah dan dipadatkan sebanyak 2 x 75 kali tumbukan pada setiap benda uji. Kemudian dilakukan pengujian *Marshall Test*. Total benda uji adalah sebanyak 15 buah.

Tahap V

Setelah diperoleh data dari hasil pengujian, peneliti mengevaluasi nilai *Marshall Stability* dan *Flow*, *VIM*, *VMA*, *VFWA* dan *Marshall Quotient (MQ)* dari setiap variasi batuan alami yang kemudian dapat dilakukan analisis perhitungan untuk mencari nilai struktural. Dari perhitungan tersebut dapat ditarik kesimpulan pengaruh batuan alami dan berapa banyak batuan alami dalam agregat kasar pada campuran *HRS* yang memenuhi syarat yang ditinjau dari karakteristik *Marshall* dan nilai struktural.

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

3.1 Hasil Pemeriksaan Material

Untuk pengujian material yang berupa agregat kasar, agregat halus, aspal, dan batuan alami dapat dilihat pada Tabel 1 sampai dengan Tabel 3.

Tabel 1. Hasil Pengujian *Fresh Agregate*

No.	Jenis Pemeriksaan	Standar	Spec.	Hasil	Keterangan
A. Agregat kasar					
1	Abrasi menggunakan mesin <i>Los Angeles</i>	SNI 2417:2008	$\leq 40\%$	23,76%	Memenuhi
2	Berat Jenis <i>Bulk</i>				-
	a. Agregat kasar 0,5/1	SNI 1969:2008	-	2,635	-
	b. Agregat kasar 1/2			2,598	-
3	Berat Jenis <i>SSD</i>				
	a. Agregat kasar 0,5/1	SNI 1969:2008	-	2,667	-
	b. Agregat kasar 1/2			2,634	-
	Berat Jenis Semu				
4	a. Agregat kasar 0,5/1	SNI 1969:2008	-	2,721	-
	b. Agregat kasar 1/2			2,696	-
	Penyerapan air oleh agregat				
5	a. Agregat kasar 0,5/1	SNI 1969:2008	$\leq 3\%$	1,20%	Memenuhi
	b. Agregat kasar 1/2			1,41%	Memenuhi
6	Kelekatan agregat terhadap	SNI 2439:2011	$\geq 95\%$	100%	Memenuhi

7	aspal Kelapukan agregat	SNI 3407:2008	$\leq 12\%$	6,30%	Memenuhi
B. Agregat halus					
1	Berat Jenis <i>Bulk</i>	SNI 1970:2008		2,690	
2	Berat Jenis <i>SSD</i>	SNI 1970:2008		2,717	
3	Berat Jenis Semu	SNI 1970:2008		2,765	
4	Penyerapan air oleh agregat	SNI 1970:2008	$\leq 3\%$	1,01%	Memenuhi
5	<i>Sand Equivalent</i>	SNI 03-4141-1996	$\geq 60\%$	84,72%	Memenuhi

(Sumber: hasil penelitian dan Bina Marga 2010 revisi 3)

Tabel 2. Hasil Pengujian Aspal Pen. 60/70

No	Jenis Pemeriksaan	Metode	Spec.	Hasil	Keterangan
1	Penetrasi pada 25° (0,1mm)	SNI 06-2456-1991	60-70	68,4	Memenuhi
2	Titik lembek (°C)	SNI 2434:2011	≥ 48	50	Memenuhi
3	Titik nyala (°C)	SNI 2433:2011	≥ 232	318	Memenuhi
4	Berat Jenis	SNI 2441:2011	$\geq 1,0$	1,05	Memenuhi
5	Daktilitas, 25°C, cm	SNI 2432:2011	≥ 100	> 100	Memenuhi

(Sumber: hasil penelitian dan Bina Marga 2010 revisi 3)

Tabel 3. Hasil Pengujian Batuan Alami

No	Jenis Pemeriksaan	Standar	Spec.	Hasil	Keterangan
Penyerapan air oleh agregat					
1	a. Batuan alami 0,5 - 1 cm	SNI 1969:2008	$\leq 3\%$	3,47%	Memenuhi
	b. Batuan alami 1- 2 cm			3,49%	Memenuhi
2	Kelekatan agregat terhadap aspal	SNI 2439:2011	$\geq 95\%$	100%	Memenuhi

(Sumber: hasil penelitian dan Bina Marga 2010 revisi 3)

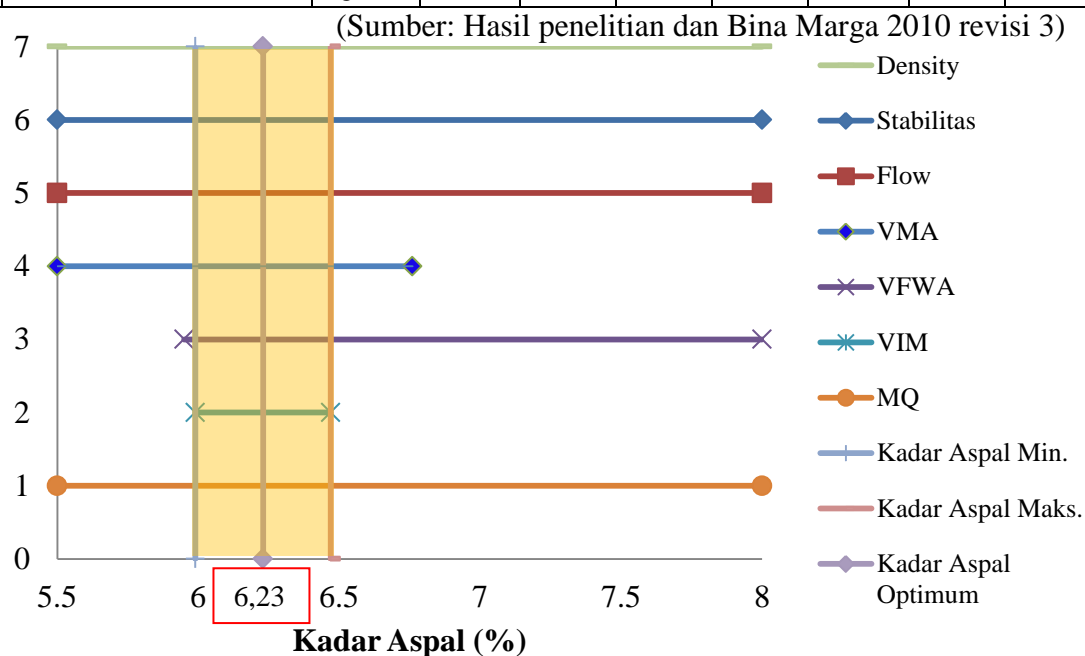
3.2 Analisa Kadar Aspal Optimum

Dari hasil pengujian dengan propertis *Marshall* didapat nilai kadar aspal optimum (KAO). Kadar aspal optimum didapat dari nilai rata-rata antara kadar aspal minimum dan kadar aspal maksimum dimana semua memenuhi persyaratan spesifikasi semua aspek propertis *Marshall* dan hasilnya dapat dilihat pada Tabel 4. Sedangkan nilai KAO dapat dilihat pada *Bar-Chart* pada Gambar 1.

Tabel 4. Nilai Rata-Rata Pengujian *Marshall* Tahap I

No	Parameter <i>Marshall</i>	Satuan	Syarat	Kadar aspal (%)					
				5,5	6,0	6,5	7,0	7,5	8,0

1	Kepadatan (<i>density</i>)	g/cc	-	2,32	2,32	2,34	2,37	2,38	2,39
2	Rongga dalam mineral agregat (<i>VMA</i>)	%	≥ 18	18,29	18,55	18,46	17,76	17,59	17,59
3	Rongga terisi aspal (<i>VFWA</i>)	%	≥ 68	62,82	67,35	73,56	83,00	89,76	96,09
4	Rongga dalam campuran (<i>VIM</i>)	%	4-6	7,05	6,36	5,26	3,46	2,27	1,22
5	Stabilitas <i>Marshall</i> (<i>MS</i>)	kg	≥ 800	1538,3	1914,2	2193,2	1896,2	1739,1	1372,3
6	Kelelahan <i>Marshall</i> (<i>Flow</i>)	mm	≥ 3	4,35	4,7	4,85	5,35	5,2	5,32
7	<i>Marshall Quotient</i> (<i>MQ</i>)	kg/mm	250	353,44	407,41	452,37	354,43	334,22	315,68



Gambar 1. Grafik Kadar Aspal Optimum

Dari bar-chart di atas dapat dilihat untuk propertis *Marshall* yang memenuhi syarat terdapat pada nilai kadar aspal antara 5,99% dengan 6,47%. Jadi kadar aspal optimum yang didapat adalah sebesar 6,23%. Tapi, dikarenakan kesalahan pada gambar awal maka nilai KAO yang dipakai sebesar 6,45%.

3.3 Hasil *Marshall Test* untuk Campuran HRS Dengan Batuan Alami

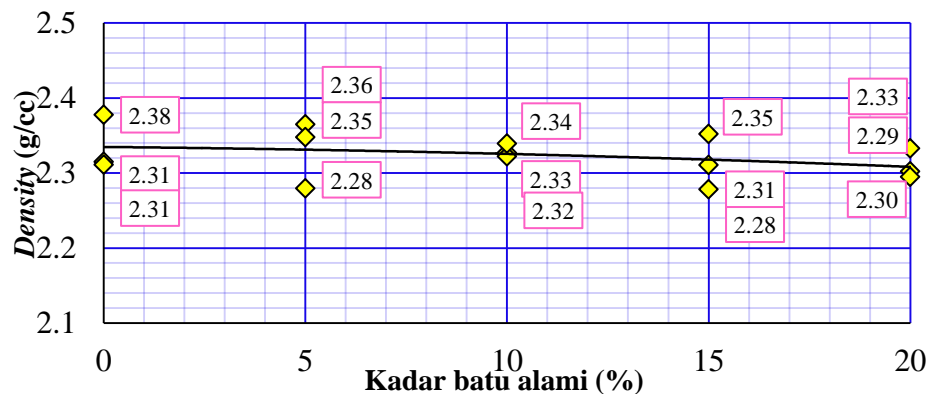
Nilai Propertis *Marshall* yang didapat dari campuran HRS dengan batuan alami menggunakan kadar aspal optimum 6,45% yang hasilnya dapat dilihat pada Tabel 5.

Tabel 5. Hasil Propertis *Marshall* pada campuran HRS dengan batuan alami.

No	Parameter <i>Marshall</i>	Satuan	Syarat	Kadar batuan alami (%)				
				0%	5%	10%	15%	20%
1	Kepadatan (<i>density</i>)	g/cc	-	2,33	2,33	2,33	2,31	2,31
2	Rongga dalam mineral agregat (<i>VMA</i>)	%	≥ 18	18,45	18,59	18,64	19,19	19,32
3	Rongga terisi aspal (<i>VFWA</i>)	%	≥ 68	73,13	72,56	71,69	69,67	68,91
4	Rongga dalam campuran (<i>VIM</i>)	%	4-6	5,35	5,52	5,57	6,21	6,36
5	Stabilitas <i>Marshall</i> (<i>MS</i>)	kg	≥ 800	1756,9	1642,3	1517,9	1307,5	1121,9
6	Kelelehan <i>Marshall</i> (<i>Flow</i>)	mm	≥ 3	4,10	4,10	3,92	3,90	3,67
7	<i>Marshall Quotient</i> (<i>MQ</i>)	kg/mm	250	440,49	406,00	387,31	335,15	305,71

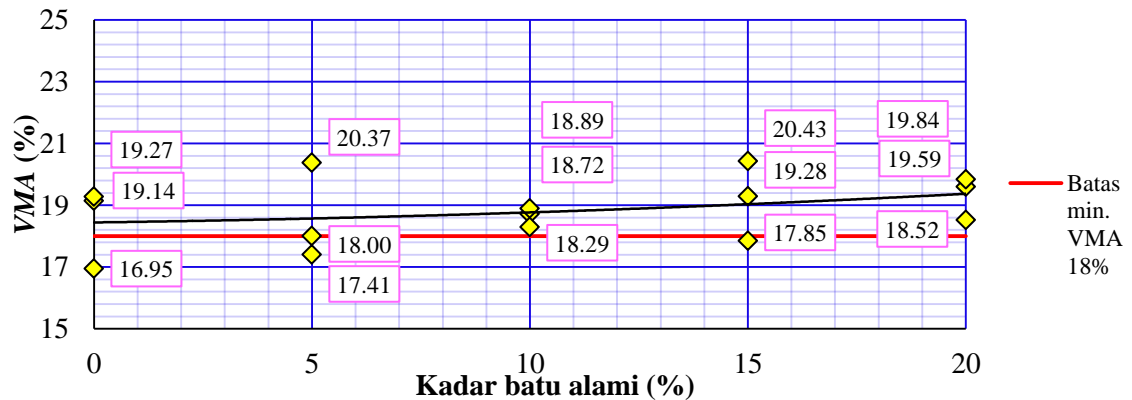
(Sumber: Hasil Penelitian)

Dari hasil pada Tabel.5. di atas dapat dibuat grafik hubungan antara parameter *Marshall* dengan kadar variasi batuan alami. Untuk lebih lengkap dapat dilihat pada Gambar.2. sampai dengan Gambar 8.



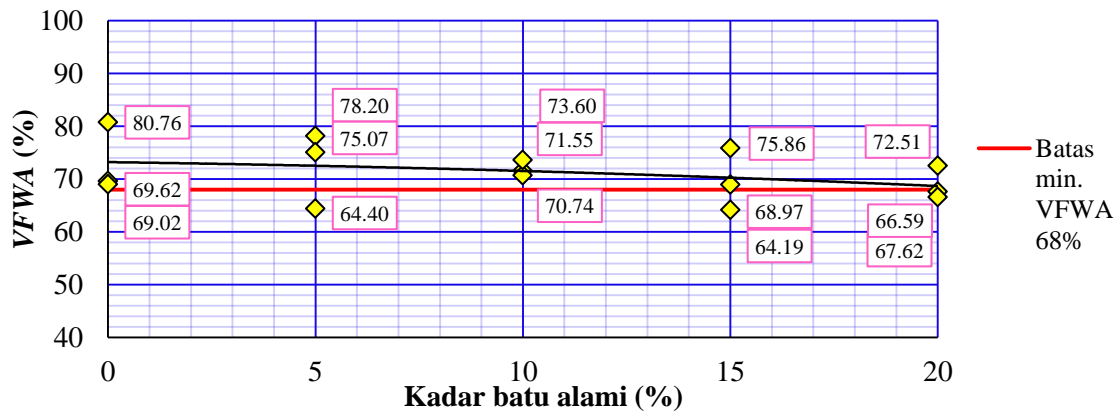
Gambar 2. Kurva Hubungan Antara Kadar Batu Alami dengan *Density*

Pada Gambar 2. diatas dapat dilihat bahwa terjadi penurunan dengan semakin banyak kadar batuan alami yang tercampur. Hal ini diakibatkan dari sifat batuan alami yang memiliki permukaan halus sehingga sulit mengunci dengan agregat lain saat dipadatkan.



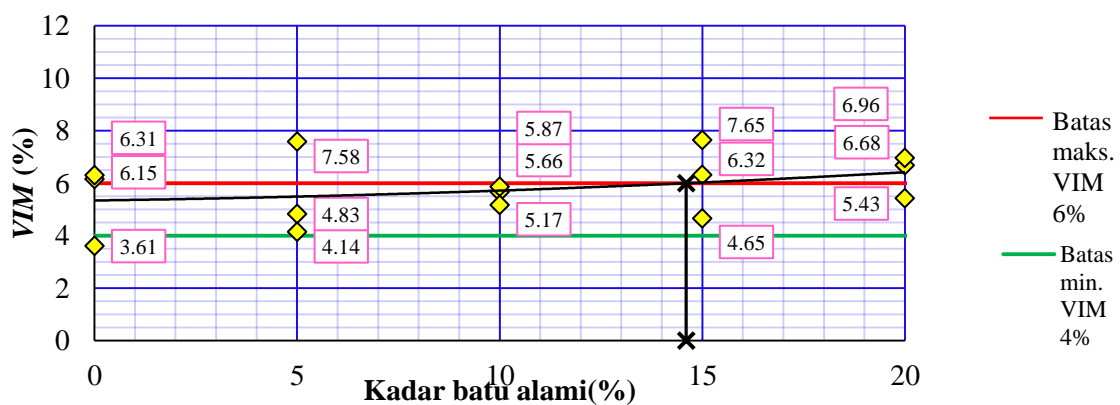
Gambar 3. Kurva Hubungan Antara Kadar Batu Alami dengan *VMA*

VMA (Void in Mineral Aggregate) untuk campuran HRS memiliki batas minimal sebesar 18%, dan dari Gambar 3. di atas menunjukkan bahwa semua variasi batuan alami memenuhi spesifikasi dengan memiliki nilai diatas 18%. Tapi dengan kadar batuan alami yang semakin tinggi akan berdampak pada nilai *VMA* yang tinggi juga. Hal ini disebabkan karena batuan alami yang tidak memiliki bidang pecah sehingga saat dicampurkan dengan agregat kasar maka akan membentuk rongga udara lebih besar antar agregat.



Gambar 4. Kurva Hubungan Antara Kadar Batu Alami dengan VFA

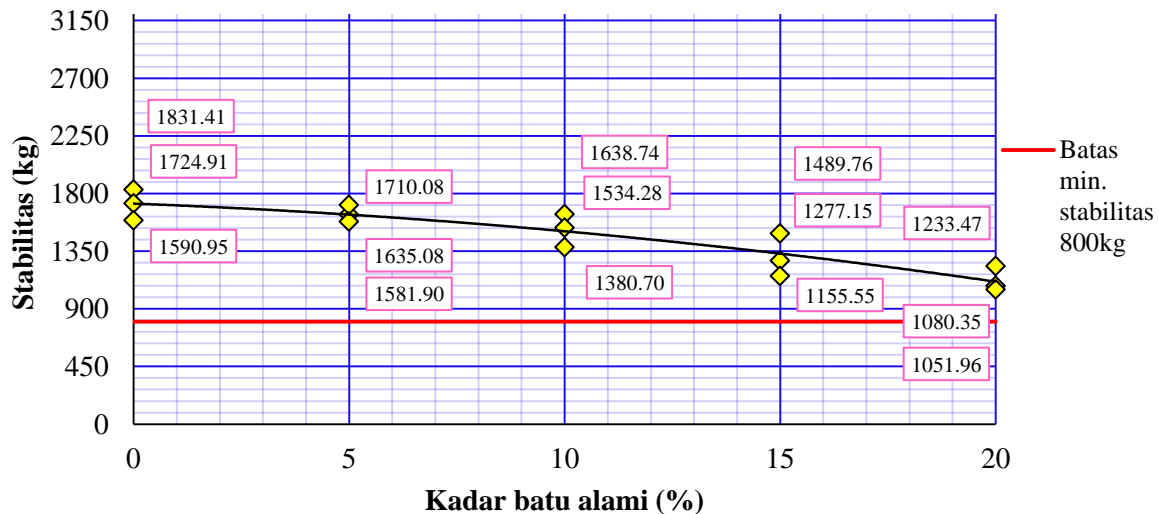
VFA merupakan perbandingan antara rongga udara dengan kandungan aspal dalam suatu campuran pekerasan. Dalam Gambar 4. dapat dilihat bahwa semakin banyak kandungan batuan alami maka nilai *VFA* akan semakin kecil. Ini diakibatkan karena batuan alami memiliki permukaan yang rata (halu) sehingga dengan kadar aspal yang sama maka rongga dalam campuran yang terisi aspal semakin sedikit.



Gambar 5. Kurva Hubungan Antara Kadar Batu Alami dengan VIM

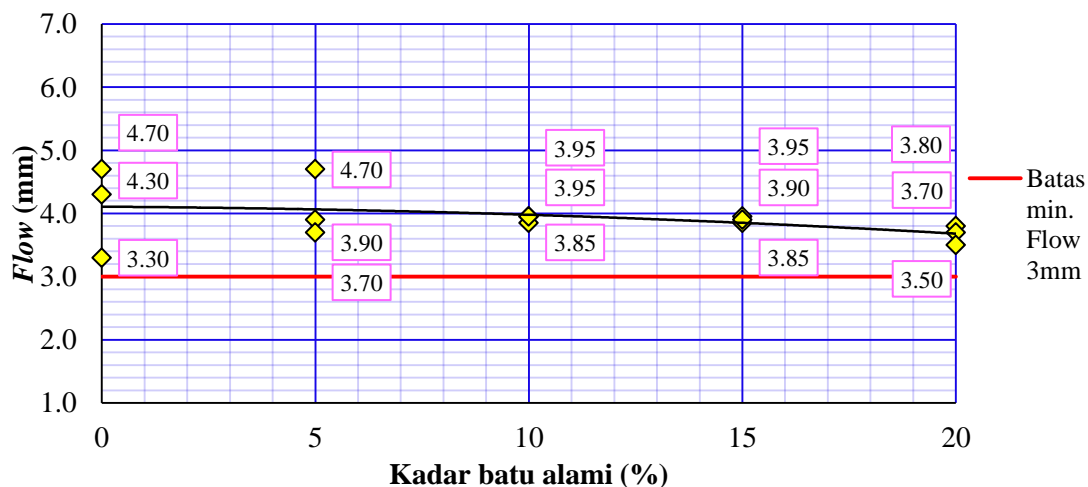
VIM merupakan nilai yang menunjukkan besarnya rongga dalam suatu campuran, untuk *HRS* memiliki batas minimum 4% dan batas maksimum 6%. Pada Gambar 5. menunjukkan hanya sampai kadar batuan alami sebesar 14,6% yang masuk spesifikasi. Hal ini disebabkan karena

batuan alami yang memiliki permukaan halus sehingga menimbulkan lebih banyak rongga di dalam campuran seiring bertambahnya batuan alami.



Gambar 6. Kurva Hubungan Antara Kadar Batu Alami dengan Stabilitas

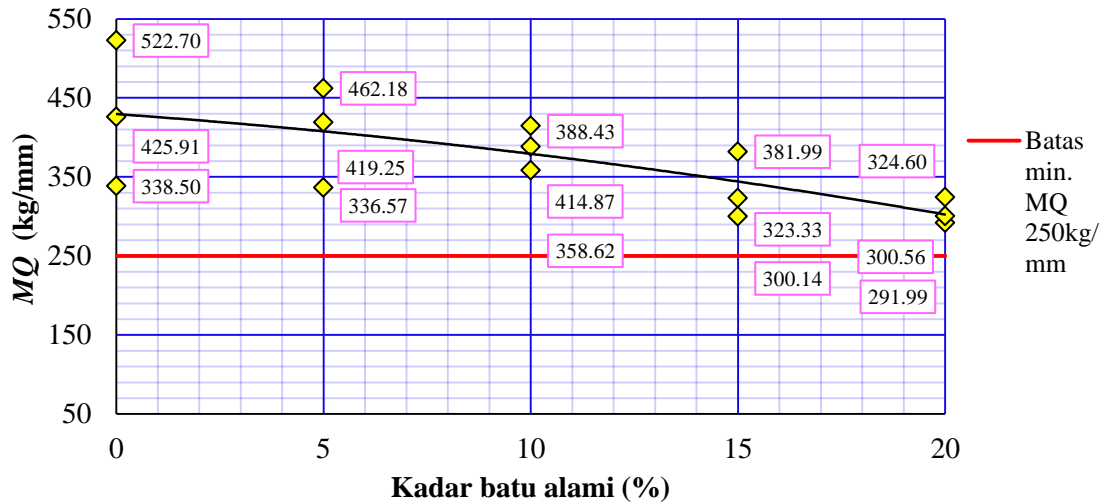
Stabilitas *Marshall* merupakan indikator dari kekuatan suatu lapir perkerasan yang memiliki spesifikasi minimal 800kg seperti ditunjukkan pada Gambar 6. Stabilitas akan semakin menurun dengan semakin banyak batuan alami. Ini dikarenakan batuan yang memiliki permukaan halus sehingga *interlocking* dengan agregat lainnya juga akan menurun.



Gambar 7. Kurva Hubungan Antara Kadar Batu Alami dengan Flow

Flow merupakan indikator untuk kelenturan suatu perkerasan yang diukur dari penurunan akibat pembebanan dihitung dalam unit. Pada Gambar 7. di atas dapat dilihat penurunan nilai *Flow* seiring bertambahnya kadar batuan alami yang tercampur. Hal ini disebabkan oleh terdapatnya batuan alami dalam campuran yang memiliki permukaan halus,

sehingga akan mengurangi *interlocking* antar agregat. Sehingga mempercepat kelelahan campuran perkerasan.

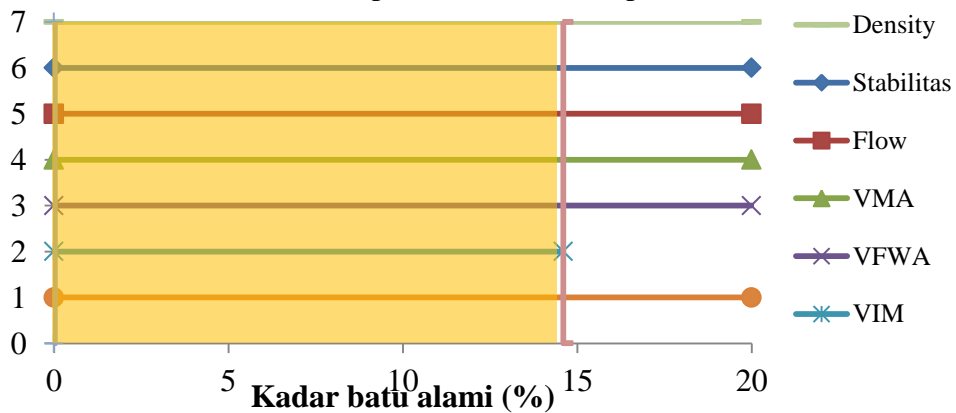


Gambar 8. Kurva Hubungan Antara Kadar Batu Alami dengan *Marshall Quotient* (*MQ*)

Marshall Quotient merupakan hasil bagi antara Stabilitas *Marshall* dengan nilai *Flow*. Pada Gambar 8. hasil *MQ* akan semakin menurun dengan seiring menambahnya kadar batuan alami di dalam campuran. Ini dikarenakan permukaan batuan alami yang halus sehingga mengurangi *interlocking* antar agregat dan juga aspal yang susah menempel pada batuan alami. Tapi semua variasi kadar batuan alam bernilai diatas 250kg/mm sehingga masih memenuhi spesifikasi.

3.4 Penentuan Kadar Batuan Alami Optimum

Penentuan kadar batuan alami optimum bisa dilihat pada Gambar 9. di bawah ini.



Gambar 9. *Bar-chart* Penentuan Batuan Alami

Dari Gambar 9. di atas bisa disimpulkan dengan KAO 6,45% hampir semua karakteristik *Marshall* memenuhi spesifikasi sampai kadar batuan alami 20%, hanya pada nilai VIM yang mencapai nilai kadar batuan alami maksimal sebesar 14,6%.

3.5 Penentuan Nilai Struktural

Untuk menentukan nilai *Sbit* (Nilai Kekakuan Aspal) harus diketahui parameter-parameter sebagai berikut:

a. Waktu pembebanan (*t*)

Diasumsikan kecepatan rencana sebesar 5km/jam, 10km/jam, 15km/jam

$$\begin{aligned} t(5) &= \frac{l}{v} & t(10) &= \frac{l}{v} & t(15) &= \frac{l}{v} \\ &= \frac{30\text{ cm}}{5\text{ km / jam}} & &= \frac{30\text{ cm}}{10\text{ km / jam}} & &= \frac{30\text{ cm}}{15\text{ km / jam}} \\ &= 5,4 \times 10^{-2} \text{ dt} & &= 3,7 \times 10^{-2} \text{ dt} & &= 2,4 \times 10^{-2} \text{ dt} \end{aligned}$$

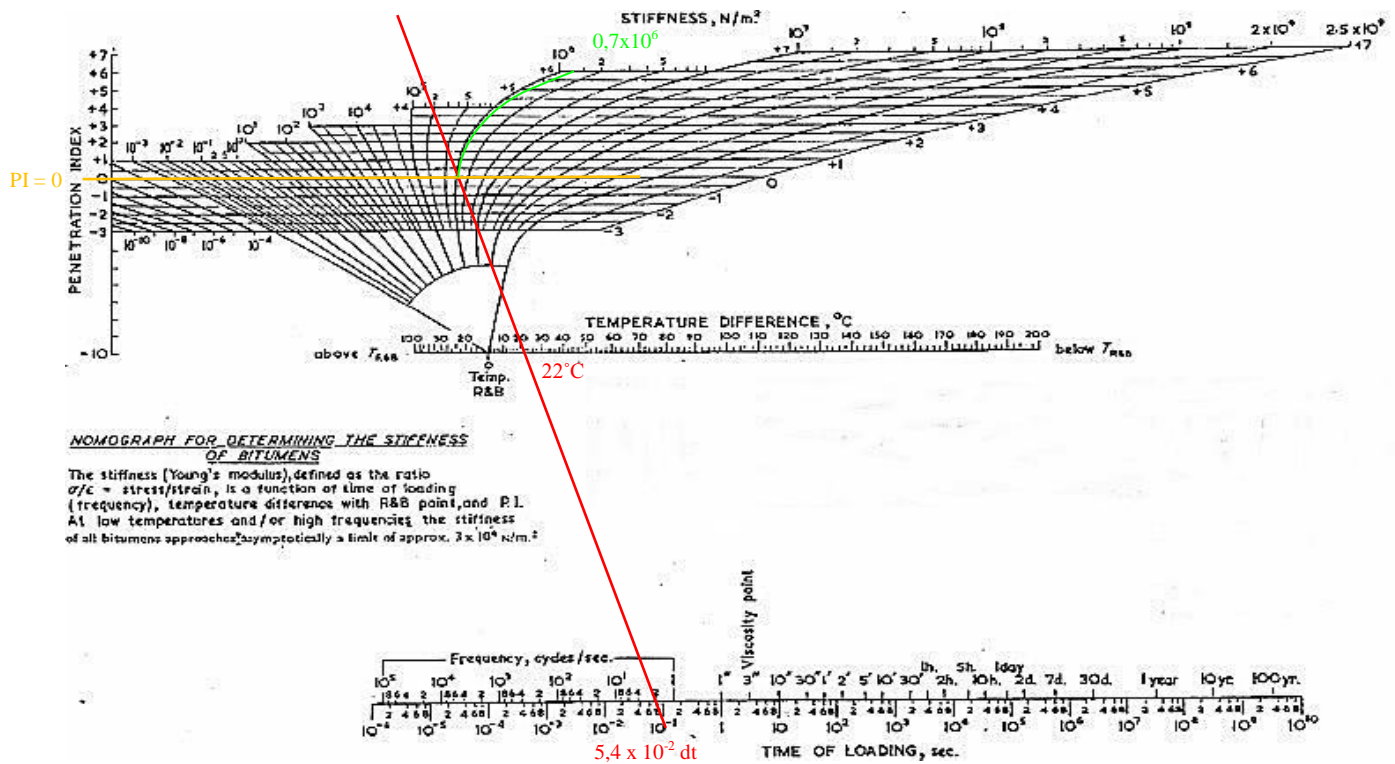
b. Temperatur perkerasan rencana (*T*)

$$\begin{aligned} T &= \text{Softening Point} - \text{Suhu jalan} \\ &= 54^\circ - 32^\circ \\ &= 22^\circ\text{C} \end{aligned}$$

c. Penetrasi indeks (*PI*)

$$\begin{aligned} PI &= \frac{1952-500\log Pen-20SP}{50\log Pen-SP-120} \\ &= \frac{1952-500\log(68,4)-20(54)}{50\log(68,4)-54-120} \\ &= 0,553 \text{ (Dipakai } PI = 0) \end{aligned}$$

Dari parameter-parameter di atas dapat dicari *Sbit* dengan menggunakan nomogram seperti pada Gambar.10. Pada nomogram tersebut dicontohkan untuk kecepatan rencana 5 km/jam.



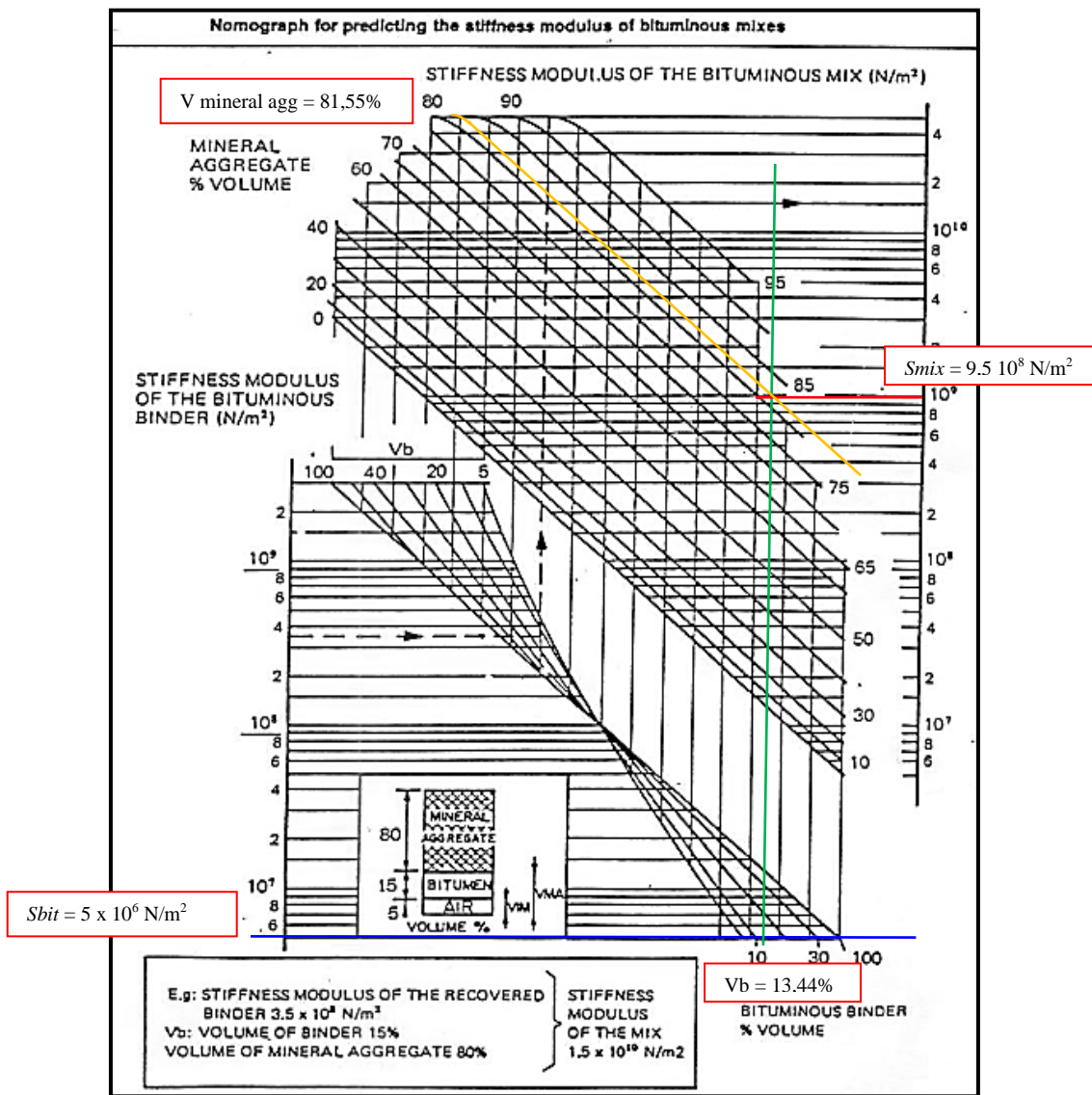
Gambar 10. Pembacaan Nomogram Untuk Menentukan *Sbit* (5km/jam)

Untuk hasil pembacaan nomogram *Sbit* dilihat pada Tabel 5. di bawah ini.

Tabel 5. Hasil pembacaan nomgram untuk mencari nilai *S-bit*

Kec. Kendaraan (v)	<i>Sbit</i>
(dtk)	(N/m ²)
t (5)	0,7 x10 ⁶
t (10)	2,5 x10 ⁶
t (15)	2,95 x10 ⁶

Dari hasil *Sbit* diatas dapat dicari nilai *Smix* (Nilai Kekakuan Campuran) dengan menggunakan nomogram. Nilai minimum nilai *Sbit* yang tersedia pada nomogram *Smix* hanya sebesar 5×10^7 N/m², maka dikarena keterbatasan tersebut nilai *Sbit* akan diasumsikan menggunakan nilai terkecil pada nomogram yaitu 5×10^7 N/m². Contoh untuk mencari nilai *Smix* dengan kadar batuan alami 0% dengan menggunakan nilai *Sbit* 6×10^7 N/m² dapat dilihat pada Gambar 11.



Gambar 11. Pembacaan Nomogram Untuk Menentukan S_{mix}

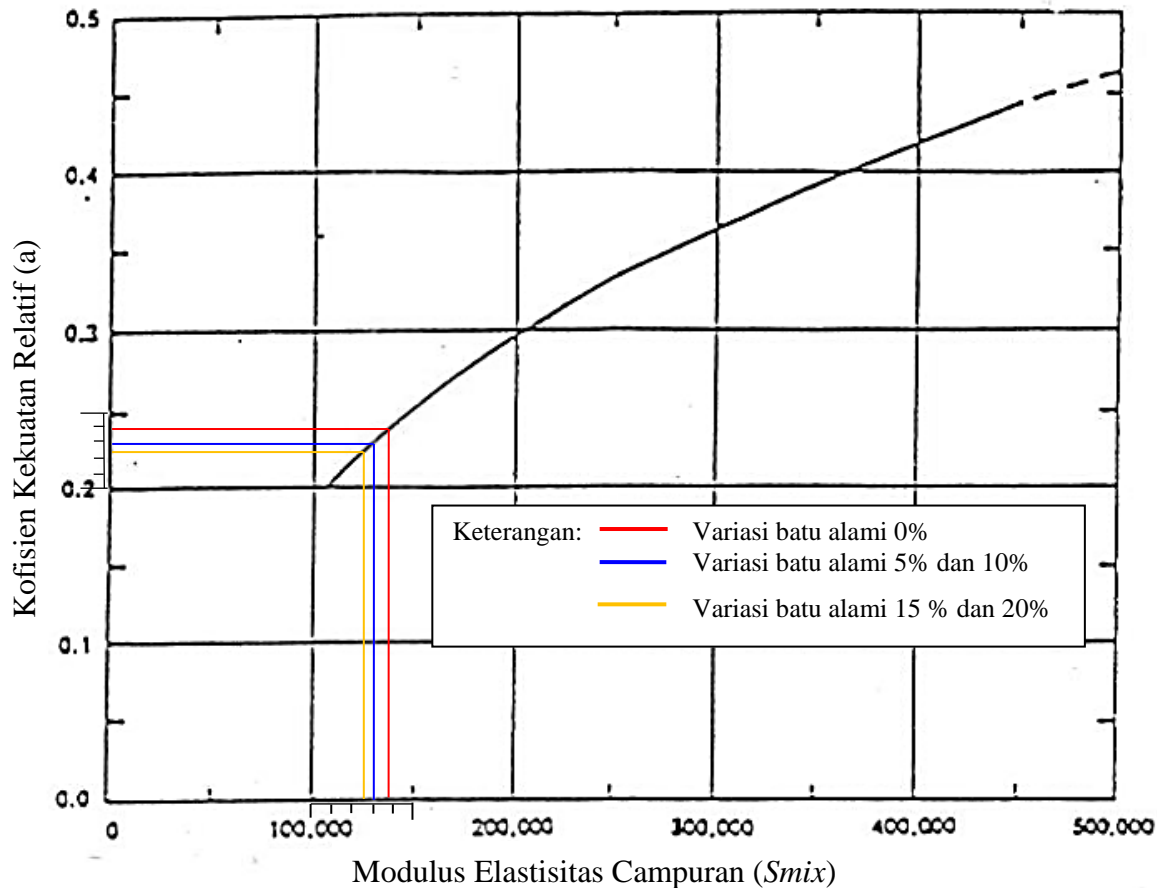
Hasil pembacaan nilai S_{mix} dengan nomogram dapat dilihat pada Tabel 6.

Tabel 6. Hasil pembacaan nilai S_{mix} dengan nomogram

Kadar Batu Alami (%)	S_{bit} (N/m^2)	Volume Binder (%)	Volume Agregate (%)	S_{mix} (N/m^2)	S_{mix} (psi)
0		13,44	81,55	$9,5 \times 10^8$	137785,85
5		13,41	81,41	9×10^8	130533,96
10	5×10^6	13,41	81,36	9×10^8	130533,96
15		13,32	80,81	$8,7 \times 10^8$	126182,83
20		13,30	80,68	$8,7 \times 10^8$	126182,83

Keterangan: $1 N/m^2 = 0,000145 \text{ psi}$

Dari nilai S_{mix} yang telah didapat dicari nilai koefisien kekuatan relatif (a) dengan menggunakan grafik Kofisien Kekuatan Relatif (a) yang berdasarkan Modulus Elastisitas Campuran (S_{mix}) seperti pada Gambar 12.



Gambar.12.Grafik Penentuan Koefisien Kekuatan Relatif Berdasarkan S_{mix}
Hasil pembacaan yang lebih lengkap dapat dilihat pada Tabel 7.

Tabel 7. Nilai Koefisien Kekuatan Relatif (a) berdasarkan S_{mix}

Kadar Batu Alami (%)	S_{mix} (psi)	Koefisien Kekuatan Relatif (a)
0	137785,85	0,239
5	130533,96	0,229
10	130533,96	0,229
15	126182,83	0,224
20	126182,83	0,224

Dari hasil di atas diketahui bahwa nilai koefisien kekuatan relatif akan cenderung menurun dengan semakin banyaknya penambahan batuan alami ke dalam campuran perkerasan. Ini dikarenakan batuan alami yang memiliki pori lebih besar yang akibat banyaknya aspal akan terserap oleh batuan alami dan menimbulkan lebih banyak rongga dalam campuran, yang kemudian akan mempengaruhi nilai *Smix*. Karena nilai *Smix* sendiri dipengaruhi oleh jumlah agregat dan aspal. Jika nilai *Smix* cenderung berkurang maka akan membuat nilai koefisien kekuatan relatif (α) juga akan turun.

4. PENUTUP

4.1 Kesimpulan

Berdasarkan hasil penelitian yang dilakukan dapat disimpulkan:

1. Semakin tinggi kadar batu alami, *Marshall Stability*, *Flow*, *MQ*, dan *VFWA* cenderung turun, sedangkan hanya nilai *VMA* dan *VIM* yang cenderung mengalami kenaikan. Sementara itu, untuk nilai *VIM* hanya sebagian yang memenuhi spesifikasi.
Sedangkan nilai struktural cenderung mengalami penurunan dengan semakin banyaknya kadar batu alami yang ditambahkan.
2. Nilai kadar batu alami maksimal yang diperbolehkan adalah sebesar 14,6% terhadap total agregat kasar mengacu pada semua semua karakteristik *Marshall*. Namun jika nilai *VIM* tidak menjadi acuan dapat memenuhi spesifikasi sampai 20% batuan alami.

4.2 Saran

Beberapa saran dapat disampaikan untuk lebih menyempurnakan hasil penelitian ini, yaitu :

1. Penelitian dapat dikembangkan dengan mengambil sumber batu alami dari tempat yang berbeda dan menggunakan jenis campuran yang berbeda.
2. Sebelum melakukan penelitian dilakukan pengujian semua bahan dengan hati-hati, karena setiap bahan memiliki sifat dan karakteristik yang berbeda satu dengan yang lain.
3. Saat perhitungan nilai struktural mungkin dapat dilakukan dengan metode yang lain atau dengan menggunakan nomogram yang lebih jelas.
4. Saat melakukan praktisi di lapangan dapat memperkirakan presentasi batu alami dalam agregat kasar dengan mengambil sampel agregat kasar (lebih banyak lebih baik) kemudian dihampar dan kemudian dapat dilihat secara visual jumlah persentase batuan alami yang terdapat pada sampel tadi.

5. Dalam penentuan KAO supaya lebih teliti dalam pembuatan grafik propertis *Marshall*, sehingga kadar aspal yang didapatkan lebih akurat. Dan tren grafik semua properis *Marshall* harus sesuai dengan pedoman.

PERSANTUNAN

Dengan terselesaikanya penelitian ini, penulisa ingin mengucapkan terima kasih atas bimbingan, petunjuk, bantuan, serta kerja samanya kepada:

1. Bapak Ir. Sri Sunarjono M.T., Ph.D. selaku Dekan Fakultas Teknik Universitas Muhammadiyah Surakarta.
2. Bapak Dr. Mochamad Solikin, selaku Ketua Jurusan Teknik Sipil Universitas Muhammadiyah Surakarta.
3. Bapak Ir. Zilhardi Idris M.T., selaku Pembimbing Akademik.
4. Bapak Ir. H. Agus Riyanto M.T., selaku Dosen Pembimbing.
5. Ibu Ika Setiyaningsih S.T., M.T., selaku Dosen Penguji I.
6. Ibu Nurul Hidayati S.T., M.T., Ph.D., selaku dosen Penguji II.
7. Pimpinan serta staf Laboratorium Teknik Sipil Universitas Muhammadiyah Surakarta.
8. Orang tua tercinta yang telah memberikan nasehat, do'a, dan segala bantuanya.
9. Semua pihak yang telah membantu untuk terselesaikanya laporan Tugas Akhir ini.

DAFTAR PUSTAKA

Materi Perkuliahan Bahan Perkerasan. (2015). *Nilai Struktural*, Universitas muhammadiyah Surakarta

Jurusan Teknik Sipil. (2015). *Modul Praktikum Bahan Perkerasan*, Laboratorium Teknik sipil Universitas Muhammadiyah Surakarta, Surakarta.

Mukhlis. (2010). *Tinjauan potensi penggunaan kerikil alam (sungai) untuk campuran beraspal perkerasan jalan*. Tidak Diterbitkan, Tugas Akhir Teknik Sipil, Politeknik Negeri Padang

Spesifikasi Umum Revisi 3. (2010). Divisi 6: Perkerasan Aspal, Direktorat Jendral Bina Marga